



(11) **EP 2 107 434 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.10.2009 Patentblatt 2009/41

(51) Int Cl.:
G04B 15/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08153962.9**

(22) Anmeldetag: **02.04.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(71) Anmelder:
• **Manufacture et fabrique de montres et
chronomètres
Ulysse Nardin Le Locle SA
2400 Le Locle (CH)**
• **GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH
89081 Ulm (DE)**

(72) Erfinder:
• **Gluche, Peter Bodo
89073, Ulm (DE)**

• **Von Gunten, Stéphane
2000, Neuchâtel (CH)**
• **Gretzschel, Ralph
89231 Neu-Ulm (DE)**

(74) Vertreter: **Scheuzger, Beat Otto
Bovard AG
Patentanwälte VSP
Optingenstrasse 16
3000 Bern 25 (CH)**

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)
EPÜ.

(54) **Mechanisches Bauteil, insbesondere im Räderwerk eines mechanischen Zeitmessers**

(57) Es wird ein mikromechanisches Bauteil, insbesondere im Räderwerk eines mechanischen Zeitmessers, beschrieben, welches derart in Berührung mit mindestens einem zweiten Bauteil steht, dass beim Betrieb des Zeitmessers eine Relativbewegung zwischen den Kontaktflächen des ersten mikromechanischen Bauteils und des zweiten mikromechanischen Bauteils eintritt. Zumindest das erste mikromechanische Bauteil ist aus einem harten und dimensionsstabilen Nichtmetall so gefertigt, dass die mindestens eine Kontaktfläche zwischen dem ersten mikromechanischen Bauteil und dem zweiten mikromechanischen Bauteil eine Längendimension von höchstens 200 μm senkrecht zur Richtung der genannten Relativbewegung aufweist, und dass sich die genannte Kontaktfläche in Richtung dieser Relativbewegung erstreckt. Insbesondere kann sich es beim erfindungsgemässen mikromechanischen Bauteil um ein in eine Ankerhemmung eingebautes Bauteil handeln.

Bevorzugt sind die Kontaktflächen, die der Reibung unterliegen, aber zumindest die als Kante ausgeführt Kontaktfläche, mit einer Beschichtung versehen. Die als Kante ausgeführte Kontaktfläche kann bis zu einer punktförmigen Dimension weiter verkleinert werden.

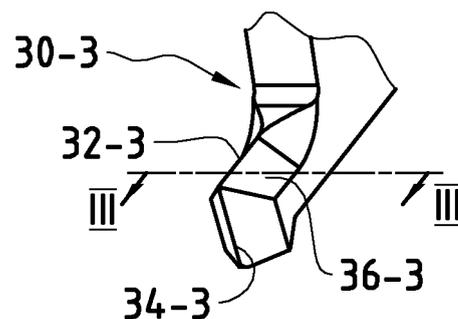


FIG. 3B

EP 2 107 434 A1

BeschreibungSachgebiet der Erfindung

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein neuartiges hochpräzises und reibungsoptimiertes mikromechanisches Bauteil, insbesondere im Räderwerk eines mechanischen Zeitmessers, nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein solches mikromechanisches Bauteil, welches Teil einer Ankerhemmung eines mechanischen Zeitmessers ist. Ausserdem betrifft die Erfindung einen Zeitmesser, in welchen ein solches mikromechanisches Bauteil eingebaut ist.

Technische Grundlagen

15 **[0002]** Ein mechanischer Zeitmesser, wie er als Taschenuhr oder Armbanduhr allgemein bekannt ist, umfasst üblicherweise mindestens ein Räderwerk. Ausserdem bildet in einem herkömmlichen mechanischen Zeitmesser das Antriebsverteilungsorgan, die Hemmung, den Übergang zwischen dem Räderwerk und dem Oszillator (Schwings- oder Zeitteilungsorgan).

20 **[0003]** Aufgabe der Hemmung ist es, das Schwingsorgan, die Unruh, jedesmal mit einer winzigen Energiemenge zu versorgen, wenn sie den "toten Punkt" passiert. Als "toter Punkt" bezeichnet man die Position der Unruh bei der sie sich nominell in Ruhelage befindet, bzw. die Amplitude der Unruh nominell 0° beträgt (Nulldurchgang). Die Unruh schwingt gleichmässig beiderseits des toten Punkts mit einer Amplitude \hat{A} aus und gibt bei jedem Nulldurchgang einen Zahn des Hemmungsrad frei. Das erlaubt dem Räderwerk und den Zeigern, sich in kleinen Sprüngen mit einer regelmässigen Frequenz zu drehen, die von der Unruh gesteuert wird.

25 **[0004]** Zwischen den kurzen Augenblicken, in denen die Hemmung das Räderwerk freigibt, ruht dieses, während die Unruh jedoch ständig in Bewegung bleibt, bis die in der Zugfeder gespeicherte Energie abgegeben ist. Nur während des kurzen Augenblicks, während der sogenannten Hebung, wird über die Hemmung eine winzige Energiemenge an die Unruh zurückgeführt. Die resultierenden ruckartigen Bewegungen des Räderwerks sind z.B. am Vorrücken des Sekundenzeigers zu beobachten

30 **[0005]** Für die möglichst gleichmässige Abgabe der Energie wurden bereits Dutzende von verschiedenen Hemmungen vorgeschlagen. Heute sind praktisch alle mechanischen Uhren mit dem gleichen Typ ausgerüstet, nämlich mit der "Schweizer Ankerhemmung". In einer "Schweizer Ankerhemmung" umfassen die beiden Arme des Ankers je einen Ankerstein ("Palette"), die meist aus Rubin, Saphir oder Granat bestehen. Diese Ankersteine sind in die beiden Arme des Ankers entweder eingesetzt, oder werden aus einem Stück zusammen mit dem Anker angefertigt. Die Ankersteine greifen abwechselnd in je einen Zahn des Hemmungsrad und halten es so fest. Jedesmal, wenn die Unruh den toten Punkt in der einen oder anderen Richtung passiert, greift sie über den sogenannten Hebelstein (Ellipse) in die Ankergabel ein. Dadurch gibt der Anker über seine jeweilige Palette je einen Zahn des Hemmungsrades frei, das damit kurz vorrückt und einen winzigen Energiebruchteil über den Anker an den Hebelstein und damit die Unruh zurückführt.

35 **[0006]** Abgesehen von dem kurzen Augenblick, in dem das Hemmungsrad über die Ankergabel mit der Unruh verbunden ist, schwingt diese als Oszillationsorgan völlig frei und unabhängig von ihrem Antriebsmechanismus. Das ist eine grundlegende Bedingung für den regelmässigen Gang der Uhr. Die wenigen Hemmungstypen, die diesen Vorteil besitzen, werden als "freie Hemmungen" bezeichnet. Die Ankerhemmung ist also eine freie Hemmung. Solche Hemmungskonstruktionen sind erst gegen Mitte des 18. Jahrhunderts entwickelt worden.

40 **[0007]** Bei der Kraftübertragung zwischen den Zähnen des Ankerrades und den Paletten des Ankers bewegen sich diese beiden Teile unter Druck gegeneinander. Zu Beginn der Bewegung liegt eine Palette an einer Fläche eines Ankerradzahns, der so genannten Ruhefläche, an. Bei der Bewegung der Palette gegen das Ankerrad tritt eine Reibungskraft auf.

45 **[0008]** Um zwei Körper, die mit planparallelen ebenen Flächen aneinander liegen und bei denen die beiden Körper durch eine Kraft gegeneinander gedrückt sind, relativ zueinander zu bewegen, muss eine Kraft in Bewegungsrichtung angelegt werden. Zunächst ist die Haftreibung der beiden Körper zu überwinden; wenn die Kraft zur Überwindung der Haftreibung ausreicht, beginnen sich die Körper gegeneinander zu bewegen, und zur Aufrechterhaltung einer gleichförmigen Bewegung reicht eine geringere Kraft aus. Diese Kraft gehorcht der Beziehung

$$F_R = \mu \cdot F_N \quad (\text{Gleichung 1})$$

55

worin F_R die Reibungskraft, F_N die senkrecht zur Ebene der beiden Kontaktflächen auf die Körper wirkende Normalkraft und μ der Reibungskoeffizient (der Gleitreibung) ist. Dieser Koeffizient ist eine dimensionslose Zahl und bestimmt also,

wie gross die Reibungskraft im Verhältnis zur Normalkraft ist.

[0009] Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, dass Kräfte Vektoren und daher richtungsabhängig sind; vgl. z.B. Kuchling, Taschenbuch der Physik, S. 103ff, 1989 Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/Main (Deutschland).

[0010] Bei der Ankerhemmung werden die Reib- und Normalkraft im Wesentlichen durch das Drehmoment des Ankerradtriebes übertragen. Dieses Drehmoment wird letztendlich von der Zugfeder erzeugt und über das Räderwerk und den Ankerradtrieb übertragen.

[0011] Wie weiter unten noch beschrieben wird, stellt die Reibung zwischen den Paletten und dem Ankerrad ein Problem dar, welches die Genauigkeit und die Lebensdauer des Uhrwerks beeinflusst. Eine hohe Reibung verkleinert den Energiebetrag, der an die Unruh weitergegeben wird; die Ganggenauigkeit und die verfügbare Gangreserve sind kleiner als bei geringer Reibung. Zusätzlich führt die erwähnte Reibung in der Regel zu einem Materialabtrag, also Verschleiss, an den Kontaktflächen von Paletten und am Ankerrad, wodurch die Ganggenauigkeit reduziert werden kann und die betreffenden Teile von Zeit zu Zeit ersetzt werden müssen.

[0012] Zur Verschleiss- und Reibungsminimierung werden bei konventionellen Hemmungen mit Stahl-Ankerrad und Rubinpaletten obligatorisch Öle eingesetzt. Der Einsatz von Schmierstoffen bedingt wiederum, dass das Uhrwerk in regelmässigen Zeitabständen gewartet werden muss, da die Schmierstoffe erneuert und/ oder die Hemmung und das Räderwerk gereinigt werden müssen. Schliesslich kann sich auf den Kontaktflächen Staub, aber auch Feuchtigkeit absetzen, wodurch sich der Reibungskoeffizient ändern und damit auch die Ganggenauigkeit des Zeitmessers beeinflusst werden kann.

[0013] Daher versucht man schon seit Langem, die Reibungsverhältnisse zwischen dem Ankerrad und den Paletten zu stabilisieren und insbesondere die Reibung selbst zu vermindern. So wurde es beispielsweise bereits vorgeschlagen, am Ende der Paletten kleine Behälter für Öl anzubringen, das sich dann langsam auf den Reibflächen verteilt. Diese und andere Massnahmen haben jedoch nicht eine abschliessende Verbesserung gebracht, so dass die oben genannten Nachteile des Standes der Technik bis heute nur in unbefriedigendem Masse gelöst sind.

Offenbarung der Erfindung

[0014] Die Erfindung hat sich daher zur Aufgabe gestellt, die Lebensdauer und auch die Präzision mechanischer Uhrwerke durch eine Überarbeitung der mechanischen Bauteile, und insbesondere die Überarbeitung der Ankerhemmung von Grund auf zu verbessern. Insbesondere ist es ein Ziel der Erfindung, die Reibung der Paletten gegen das Ankerrad deutlich zu verringern, jedoch gleichzeitig die Abnutzung dieser Teile auf einem tolerablen Mass zu halten. Zudem sollte auf den Einsatz von Schmierstoffen, wenn möglich, vollständig verzichtet werden. Schliesslich sollen die Aufgaben der Erfindung mit geringen Kosten, reproduzierbar und fertigungstechnisch einfach gelöst werden.

[0015] Die vorliegende Erfindung ist im ersten unabhängigen Patentanspruch definiert, und ein Zeitmesser, der mit dem neuen mikromechanischen Bauteil ausgerüstet ist, bildet den Gegenstand des zweiten unabhängigen Patentanspruchs. Besondere oder bevorzugte Ausführungsformen sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

[0016] Die Erfindung beruht auf dem Grundgedanken, zunächst einmal die Reibung zwischen den einzelnen mikromechanischen Bauteilen so gering wie möglich zu machen. Dieses Prinzip führt insbesondere bei einem mikromechanischen Bauteil, welches Teil der Ankerhemmung ist, zur Verlängerung der Lebensdauer und einer einfacheren Wartung des Zeitmessers. Insbesondere werden gemäss diesem Erfindungsgedanken die Kontaktflächen der beiden Körper (der beiden mikromechanischen Bauteile) in eine Kontaktlinie oder einen Kontaktpunkt überführt. Bei der Ankerhemmung werden die Paletten gegen die Kontaktfläche des Ankerradzahns schräg gestellt, so dass nicht die ebene seitliche Endfläche des Ankerradzahns, sondern nur die obere achsparallele Kante des Zahns an der Palette anliegt und quer zur Richtung der Kante über diese Fläche gleitet. Damit wird die Gleitreibung zweier Flächen bei der Bewegung des Zeitmessers möglichst durch die Reibung einer Kante, d.h. einer (zweidimensionalen) Geraden, gegen eine ebene Fläche ersetzt. Gemäss Gleichung 1 sind Reibkräfte flächenunabhängig. Dies gilt jedoch nur in einem makroskopischen Massstab. Für sehr kleine, insbesondere raue Kontaktflächen kann hingegen sehr wohl eine direkte Abhängigkeit des Reibkoeffizienten von der Grösse der Kontaktfläche beobachtet werden. Dies wird wissenschaftlich durch eine Mikroverzahnung der beiden Kontaktflächen erklärt.

[0017] Im Folgenden wird die Erfindung auf dem Beispiel einer Ankerhemmung erläutert. An dieser Stelle wird jedoch explizit darauf hingewiesen, dass sich diese Erfindung auch auf ein mikromechanisches Bauteil im Allgemeinen bezieht.

[0018] Erfindungsgemäss wird zunächst die Grösse der Kontaktfläche zwischen Paletten und Ankerradzahn (oder allgemein die Grösse der Kontaktfläche zwischen einem ersten und einem zweiten mikromechanischen Bauteil) stark verringert. Aus Verschleissgründen muss gleichzeitig auch das Material des metallischen Ankerrads durch ein härteres Material ersetzt werden. Dies betrifft zunächst nur die Kontaktflächen an den Zähnen des Ankerrades. Bei der Verkleinerung der Kontaktfläche verändert sich bei konstantem Drehmoment des Ankerradtriebes die Zahnkraft nicht. Jedoch steigt der "Flächen"-Druck zwischen den beiden Teilen sehr stark an, und damit besteht die Gefahr erhöhter Abnutzung an den Kontaktflächen. Um diesem voraussehbaren Effekt zuvorzukommen, sieht die Erfindung in einer bevorzugten Ausführungsform vor, die Kontaktflächen auf den Zähnen des Ankerrads durch ein extrem hartes Material auszuführen.

Hierzu bietet sich eine Hartstoffbeschichtung mit Diamant, insbesondere mit nanokristallinem Diamant, an. Entsprechende Techniken zur Bildung solcher extrem harter Überzüge sind in letzter Zeit bekannt geworden.

[0019] Ein nächster Schritt zur weiteren Verminderung der Reibung in der Ankerhemmung ist der komplette Ersatz des bisher aus Metall bestehenden Ankerrades durch ein solches aus einem anderen Material wie Silizium, wobei die Verschleissfestigkeit der erwähnten Kontaktflächen noch weiter erhöht werden kann, beispielsweise wiederum durch eine geeignete Beschichtung. Auch in diesem Fall kann eine Hartstoffbeschichtung verwendet werden, wobei sich ein Siliziumoxid wie SiO_2 oder ein nichtstöchiometrisches Oxid mit der Formel Si_xO_y , wobei x und y ganze Zahlen sind, sowie Siliziumcarbide, Siliziumnitride oder ebenfalls Diamant besonders gut eignen. Besonders sei hervorgehoben, dass feinkristalline bzw. nanokristalline und auch amorphe Beschichtungen sich besonders als Verschleißschutzschicht bewähren. Angestrebt werden deshalb Materialien, die entweder amorph abgeschieden werden können oder eine mittlere Korngröße von weniger als 50nm aufweisen. Dabei wird ferner ein Gleitreibkoeffizient von unter 0,2, ohne den Einsatz von Schmierstoffen angestrebt. Mit einer Diamantbeschichtung der Zähne eines aus Silizium bestehenden Ankerrads im Kontakt mit Diamantpaletten erzielt man bereits einen Gleitreibungskoeffizienten in der Größenordnung von 0,05 bis 0,1; Im Vergleich dazu beträgt der Gleitreibkoeffizient von hochpoliertem Saphir gegen Stahl unter Zuhilfenahme von Schmierstoffen etwa 0,15, also etwa 50%-300% mehr. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Gleitreibzahl von der Rauheit der jeweiligen Oberflächen abhängt. Ferner ist bekannt, dass die Gleitreibzahl bei vielen Oberflächen (beispielsweise bei Oberflächen aus Siliziumoxid und/oder DLC-Schichten (Diamond Like Carbon) stark von der Luftfeuchtigkeit abhängig, bei Diamant dieser Effekt jedoch vernachlässigbar ist.

[0020] Eine Möglichkeit der Abscheidung solcher Beschichtungen ist im Dokument EP 1 622 826 der Anmelderin beschrieben.

[0021] Eine weitere Reduktion der Reibung erzielt die Erfindung dadurch, dass die Kontaktfläche auf dem Ankerradhaken, d.h. dem abgebogenen freien Endbereich jedes Ankerradzahns, oder auf der Palette durch einen linienförmigen Absatz ersetzt wird. Eine solche "Linien"-Reibung kann mit der eines Schlittschuhs verglichen werden. Hier gilt, wie oben beschrieben, nicht mehr die Bedingung bei einer gleitenden Reibung zweier Flächen aneinander, dass die Reibungskraft von der Flächengröße der in Berührung stehenden Körper unabhängig ist. Dies beruht darauf, dass im streng mathematischen Sinn nicht mehr von einer Fläche gesprochen werden kann, wenn sich nur eine Kante, also ein zweidimensionales Gebilde, auf einer Fläche verschiebt. Dabei kann sich die Kontaktlinie, also eine Kontaktgerade, die sich in Bewegungsrichtung erstrecken muss, an einer beliebigen Stelle der bisherigen Kontaktfläche befinden, also mittig, seitlich versetzt oder auch am Rande. Die Breite der zu erzeugenden Kontaktgerade richtet sich im Allgemeinen nach den Fertigungsmöglichkeiten; eine Breite von ca. 50 μm wird als ausreichend für die Verminderung der Reibung angesehen. Auch hier ist es wegen der auftretenden hohen mechanischen Druckspannung σ_D :

$$\sigma_D = F_N / A$$

mit F_N : auf die Fläche A wirkende Normalkraft
erforderlich, Hartstoffe einzusetzen, um dem erhöhten Verschleiss der Kontaktzonen entgegenzuwirken.

[0022] Eine weitere Steigerung des Wirkungsgrads, d.h. eine weitere Verminderung der Reibung, kommt zustande, wenn erfindungsgemäss die genannte Kontaktgerade zunächst durch Punkte ersetzt wird, und wenn schliesslich alle Punkte bis auf einen weggelassen werden. Es versteht sich, dass dann der resultierende Kontaktdruck unzulässig hohe Werte annehmen kann, so dass es zuweilen erforderlich ist, anstelle einer punktförmigen Spitze über der Kontaktfläche eher eine Erhebung mit einer definierten kleinen Fläche vorzusehen, beispielsweise eine kegelförmige Erhebung mit einem Verrundungsradius von etwa 100 bis 20 μm , vorzugsweise zwischen 80 und 50 μm an der Spitze des Kegels. Insbesondere bei punktförmigen Kontaktpunkten kann sich leicht ein Anpressdruck (Pressung) p ergeben, der oberhalb der kritischen Bruchspannung der Hartstoffschicht liegt, die Hartstoffschicht somit bricht und das Bauteil katastrophal versagt. Aus diesem Grund muss die Hartstoffschicht neben Ihrer verschleißreduzierenden Härte auch eine sehr hohe mechanische Bruchspannung aufweisen, welche oberhalb der tatsächlich auftretenden Druckspannung liegt. Hierbei haben sich insbesondere Materialien bewährt, die eine kritische Druckspannung von mehr als 0,5 GPa aufweisen. Besonders bevorzugt lassen sich Materialien einsetzen, die eine kritische Druckspannung von mehr als 2 GPa aufweisen und bei denen die Bruchspannung zusätzlich isotrop, also nicht richtungsabhängig ist. Insbesondere bei einkristallinen Festkörpern wie z.B. Silizium ist bekannt, dass die kritischen Belastungsgrenzen und damit auch die kritische Druckspannung stark von der Kristallorientierung abhängig sind. Dieser Effekt ist unerwünscht und kann unter anderem dadurch vermieden werden, dass die Kristallite der Hartstoffschicht statistisch orientiert sind.

[0023] Bekanntlich können sich während der Verwendung eines Zeitmessers kleine Staubpartikel und ähnliche andere Verunreinigungen in das Innere des Uhrwerks einschleichen. Diese Staubpartikel können die Bewegungen der einzelnen mikromechanischen Bauteile im Uhrwerk (insbesondere in der Hemmung) negativ beeinflussen. Erfindungsgemäss kann jedoch auch dieses Problem gelöst werden, da sich durch die erwähnte extrem hohemechanische Druckspannung

an den Kontaktstellen zwischen Ankerzahnrad und Palette vorteilhafterweise ein Selbstreinigungseffekt ergibt. Dieser liegt darin begründet, dass der Druck der Bauteile in der Kontaktzone nun so gross ist, dass die Kontaktflächen quasi als Schabwerkzeuge fungieren und somit Verunreinigungen aus der Kontaktzone schieben können. Voraussetzung ist allerdings, dass trotz des hohen Drucks der Verschleiss auf der Kontaktfläche tolerabel bleibt. Dies kann durch die Ausrüstung der in Kontakt befindlichen Teile mit verschiedenen Beschichtungen erreicht werden, wie es im Vorstehenden bereits erwähnt wurde.

[0024] Die Herstellung des Ankerrads aus Silizium oder auch aus Diamant kann nach den bekannten modernen Verfahren geschehen. Die besondere Form auf den Kontaktflächen des Ankerrads, nämlich eine in Bewegungsrichtung der Paletten verlaufende Kante, eine Punktreihe oder auch einzelne Punkte lassen sich mit photolithographischen Arbeitsweisen und Strukturierungstechnologien der Halbleitertechnologie, wie z.B. tiefes reaktives Ionenätzen (so genanntes DRIE-Verfahren) erzeugen.

[0025] Die Erfindung schafft ausserdem auch einen weiteren Vorteil. Durch den Ersatz mindestens des Ankerrads, aber auch des Ankers durch Werkstücke aus einem Material wie Silizium oder Diamant geht der thermische Ausdehnungskoeffizient stark zurück. Wenn dieser bei Stahl 10 bis $20 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und bei Messing $18 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ beträgt, so hat er bei Diamant nur einen Wert von etwa $1,1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und für SiO_2 noch 0,5 bis $0,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (Silizium: $2,6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$). Auf Grund dieser niedrigen Werte behalten die Teile der Hemmung der vorliegenden Erfindung ihre Dimensionen bei nicht zu grossen Temperaturschwankungen bedeutend besser bei als die bekannten Hemmungen. Somit wird die allgemeine Funktionalität des Zeitmessers weiter entscheidend verbessert.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0026] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen, Vorteile und Eigenschaften des Erfindungsgegenstandes gehen aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen hervor, die nun unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung näher erläutert werden. Diese Erläuterungen und die dazu herangezogenen Zeichnungen schränken die Erfindung nicht ein, sondern geben lediglich Hinweise auf mögliche Ausführungen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0027] In den Zeichnungen stellen dar:

Fig. 1 eine schematische Draufsicht einer Ankerhemmung,

Fig. 2A-2C drei Phasen beim Betrieb der Ankerhemmung gemäss Fig. 1,

Fig. 3A-3C eine erste Ausführungsform eines Ankerrades in perspektivischer Darstellung (Fig. 3A), eine perspektivische Detailzeichnung eines Radzahns (Fig. 3B) und einen Schnitt in der Ebene III-III in Fig. 3B (Fig. 3C),

Fig. 4A-4C eine zweite Ausführungsform eines Ankerrades in perspektivischer Darstellung (Fig. 4A), eine perspektivische Detailzeichnung (Fig. 4B) eines Radzahns und einen Schnitt in der Ebene IV-IV in Fig. 4B (Fig. 4C),

Fig. 5A-5C eine dritte Ausführungsform eines Ankerrades in perspektivischer Darstellung (Fig. 5A), eine perspektivische Detailzeichnung (Fig. 5B) eines Radzahns und einen Schnitt in der Ebene V-V in Fig. 5B (Fig. 5C),

Fig. 6A-6C eine vierte Ausführungsform eines Ankerrades in perspektivischer Darstellung (Fig. 6A), eine perspektivische Detailzeichnung (Fig. 6B) eines Radzahns und einen Schnitt in der Ebene VI-VI in Fig. 6B (Fig. 6C),

Fig. 7A-7D die Schnittansicht einer fünften, einer sechsten, einer siebten und einer achten Ausführungsform eines Ankerradzahns, wobei der Schnitt analog Fig. 6C gelegt ist,

Fig. 8A und 8B eine perspektivische Ansicht bzw. einen Seitenansicht eines Ankerradzahns mit punktförmiger Kontaktkonfiguration zwischen Palette und Ankerradzahn, und

Fig. 9A und 9B eine Seitenansicht und eine Unteransicht einer Palette mit vorspringender Kontaktkante.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsformen der Erfindung

[0028] Die Erfindung soll am Beispiel der Schweizer Ankerhemmung erläutert werden. Es soll aber gleich darauf hingewiesen werden, dass sich die Erfindung auf alle mechanischen Hemmungen in Uhrwerken und anderen zeitthal-

tenden Geräten (z.B. Zeitgebern) anwenden lässt, bei denen ein reibungsbehafteter Kontakt in der Hemmung stattfindet, sowie allgemein auf sämtliche mikromechanische Bauteile, bei welchen eine Relativbewegung zu anderen Bauteilen über die Kontaktflächen entsteht.

[0029] Dabei zeigt Fig. 1 schematisch diese Hemmung mit einer Unruh 10, einem Anker 12 und einem Ankerrad 14. Der Anker 12 weist eine Eingangspalette 16 und eine Ausgangspalette 18 auf, die abwechselnd an je einem Ankerzahn 30 zur Anlage kommen; das Ankerrad wird von der (nicht dargestellten) Aufzugsfeder über das (ebenfalls nicht dargestellte) Räderwerk im Drehsinn D vorgespannt. Die Ruheflächen der Ankerpaletten 16, 18 zeigen nicht auf das Zentrum des Ankerrads, sondern stehen in einem Winkel Z von 12° bis 15° dazu. Dieser Winkel wird Zugwinkel genannt. Dadurch wird der Anker 12 in Ruheposition) sicher vom Ankerrad 14 an einen der Begrenzungsstifte 22 gedrückt. Sonst würde das Ankerhorn in der Ankergabel bei jeder Erschütterung an der Sicherheitsrolle 24 der Unruh 10 streifen.

[0030] Die Funktionsweise dieser Hemmung gemäss Fig. 1 soll hier nicht in allen Einzelheiten beschrieben werden; sie ist dem Fachmann zur Genüge bekannt. Es soll nur eine grobe Zusammenfassung gegeben werden.

[0031] In den Fig. 2A bis 2C ist der Ablauf der Ankerhemmung in drei Phasen dargestellt. Aus Fig. 2A ist ersichtlich, dass bei einer einsetzenden Schwenkbewegung des Ankers in Richtung des Pfeils E um die Achse 26 eine Kantenbewegung zwischen der Palette 16 und der vorderen Flanke des anliegenden Zahns 30A des Ankerrads 14 eingeleitet wird. Wenn die Palette, welche sich gegenüber dem Zahn 30A nach oben bewegt, den Zahn freigibt (Fig. 2B), gleitet die untere Fläche der Palette 16 über die obere, vordere Kante des Zahns 30A und anschliessend über dessen hintere Kante (Fig. 2C). Bei allen diesen Bewegungen tritt eine merkliche Reibung auf. Die Erfindung hat sich zum Ziel gesetzt, diese Reibung zu vermindern und auf einen kleinen, möglichst konstanten, reproduzierbaren Wert zurückzuführen.

[0032] In Fig. 3A bis 3C ist eine erste Ausführungsform des erfindungsgemässen Ankerrads dargestellt. Das Rad 14-3 besitzt die äussere klassische Form eines Ankerrads und weist Zähne 30-3 auf, von denen einer als vergrösserte Detailansicht B in Fig. 3B gezeigt ist. Anstelle von zwei glatten Flächen, die in Kontakt mit den Paletten kommen, sind am Ankerradzahn 30 erhöhte, dachförmige Kontaktflächen 36-3 mit je einem mittigen Grat 32-3 und 34-3 vorgesehen. Dieser Grat, der auch ohne weiteres aussermittig angeordnet sein kann, aber in Bewegungsrichtung der (nicht gezeichneten) Paletten verlaufen muss, ist bevorzugt aus einem ultraharten Material erzeugt oder mit einer geeigneten Beschichtung (z.B. mit einer Hartstoffschicht) überzogen. Der Verrundungsradius der freien Kante des Grats beträgt weniger als 25 µm.

[0033] Dabei besteht das Ankerrad 14-3 zunächst beispielsweise aus Silizium oder einem siliziumbasierten Material, und mindestens die schrägen Flächen 36-3 und auch der Grat 32-3 und 34-3 sind durch Abscheiden eines Hartbelags aus einem Siliziumoxid, -nitrid oder -carbid, aus Diamant oder einem anderen Hartstoff veredelt, so dass sie äusserst glatt und reibungsarm sind und infolge ihrer grossen Härte gegen Verschleiss weitgehend unempfindlich sind. Beispielsweise trägt man eine Hartstoffbeschichtung auf, welche Werte der HIT-Härte (DIN EN ISO 14577) von mindestens 5 GPa liefert, bevorzugt von mehr als 10 GPa, und noch mehr bevorzugt von mehr als 50 GPa. Diese Härtewerte wurden bei Nanoindenterversuchen bestimmt. Die Beschichtungen können nanokristallin oder amorph sein. Nanokristalline Beschichtungen haben beispielsweise eine mittlere Korngrösse von weniger als 100 nm, vorzugsweise von weniger als 20 nm. Die Dicke der Beschichtungen soll mindestens den Wert des in dieser Beschreibung genannten Verrundungsdurchmessers von 20 µm erreichen und auf ebenen Flächen mindestens 100 µm betragen.

[0034] In Fig. 4A bis 4C ist eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemässen Ankerrads dargestellt. Das Rad 14-4 besitzt die äussere klassische Form eines Ankerrads und weist Zähne 30-4 auf, von denen einer als vergrösserte Detailansicht B in Fig. 4B gezeigt ist. Hier ist im Unterschied zur Ausführung gemäss Fig. 3 auf den beiden Kontakt-Oberseiten eines Zahns des Ankerrads keine scharfe Kante zwischen zwei dachartigen Flächen vorhanden, sondern diese beiden Flächen sind zylindrisch nach aussen gewölbt, wobei die Zylinderachse in Richtung der Relativbewegung zwischen den Paletten und dem Ankerradzahn verläuft. Im Betrieb des Zeitmessers streicht nur die oberste und äusserste Schicht 32-4 des Zahns, die auch hier nur eine geringe Breitenausdehnung hat, nämlich von weniger als 50 µm, wenn der Kontakt mit der Palette hergestellt ist, über letztere.

[0035] Fig. 5A bis 5C zeigen auf analoge Weise wie die Fig. 3 und 4 eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemässen Ankerrads. Das Ankerrad 14-5 ist bei diesem Ausführungsbeispiel beispielsweise aus Silizium oder einem siliziumbasierten Material mit Hilfe eines photolithographischen oder eines anderen geeigneten Verfahren hergestellt, wie es zum Beispiel in ähnlicher Form in der Halbleitertechnologie zum Einsatz kommt. Die Flächen 32-5 und 34-5, die in Kontakt mit den Paletten kommen, sind seitlich an einer Trägerstruktur 36-5 befestigt oder mit ihr einstückig ausgebildet. Die Schnittzeichnung Fig. 5C ist nicht massstabsgetreu; die Breite der vorstehenden Fläche 32-5 beträgt nur etwa 15 bis 25 µm, um die Reibung an den Paletten sehr gering zu halten. Zudem kann das Ankerrad 14-5 auch aus Vollmaterial hergestellt worden, wonach durch Ätzen die Flächenteile 36-5 entfernt wurden, so dass der Grat 32-5 als Überstand verblieben ist. Auch nach diesem Verfahren kann eine bevorzugte Breite dieses Grates von nur etwa 15 bis 25 µm erreicht werden.

[0036] Bei der dritten Ausführungsform gemäss Fig. 5A-5C kann der Kontaktgrat 32-5 beispielsweise auch einen dreieckigen Querschnitt anstelle des dargestellten rechteckigen Profils haben, wodurch die Kontaktfläche auf den Zähnen des Ankerrads zu einer Kontaktlinie (mit entsprechend verringerter Reibung) ausgeführt ist. Im Allgemeinen wird man

jedoch einen Kompromiss zwischen verringerter Reibung und drohendem Verschleiss durch Abtragung anstreben.

[0037] Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemässen Präzisions-Ankerhemmung ist in Fig. 6A bis 6C dargestellt. Es handelt sich um eine Ausführungsform, bei welcher die obere Fläche 32-6 des Zahns 30-6 unter einem gewissen Winkel (beispielsweise einem Winkel W zwischen 2° und 10°) gegenüber der Senkrechten auf die seitlichen Flächen 37-6 und 38-6 ausgebildet ist. Durch diese Ausbildung wird auch eine Kontaktlinie und somit eine ganz kleine Kontaktfläche zwischen dem Ankerrad 14-6 und der Paletten des Ankers erreicht.

[0038] Zur Ergänzung zeigen die Fig. 7A, 7B, 7C und 7D, deren Darstellung analog zu Fig. 5C ist, Querschnitte von möglichen Ausgestaltungen der Kontaktlinien auf den Kontaktflächen des Ankerrads. In Fig. 7A ist eine Erhebung 40 mit dreieckigem Querschnitt auf der Grundfläche 42 des Zahnes 30-7 angebracht, und zwar so, dass eine Seite des Dreiecks die Fortsetzung einer Seitenfläche des Zahnes 30-7 bildet. Es ergibt sich also eine asymmetrische Anordnung der Kontaktgeraden über der Breite des Zahnes. Anders in Fig. 7B: hier befindet sich eine Erhebung 44 mit dreieckigen Querschnitt auf der Grundfläche 46 des Zahnes 30-7", und die Spitze der Erhebung 44 (Verrundungsradius von beispielsweise weniger als etwa $20 \mu\text{m}$) kann eine beliebige Position über der Breite des Zahns 30-7" einnehmen. Die Figuren 7C und 7D illustrieren noch zwei weitere Ausführungsformen der Erfindung. In Fig. 7C entspricht die Erhebung 44' der Erhebung 44 aus Fig. 7B, wobei sie an der Spitze abgestumpft ist. In Fig. 7D ist die Erhebung 49 an der Spitze gewölbt ausgeführt mit einem gewissen Verrundungsradius. Auch in diesen beiden Fällen sind die entsprechenden Kontaktflächen verhältnismässig klein.

[0039] Es besteht eine grosse Vielfalt möglicher Anordnungen der erfindungsgemässen Kontaktflächen bzw. -linien, und man wird diejenigen Anordnungen auswählen, die sich am bequemsten und preisgünstigsten erzeugen lassen.

[0040] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung ist in Fig. 8A und 8B gezeigt. Hier ist die Kontaktfläche (immer für einen Kontakt zwischen Palette und Ankerradzahn) nicht durch eine Kontaktlinie, sondern durch Kontaktpunkte 50 ersetzt, auf denen die Palette gleitet, solange sie in Berührung mit einem Zahn 30-8 des Ankerrades ist. Diese Kontaktpunkte 50 können kleine Kegel aus Diamant sein, die in das Material des Zahnes 30-8 - meist Silizium oder ein siliziumbasiertes Material - eingesetzt sind oder nach anderen Techniken erzeugt werden. Ferner können diese Kontaktpunkte auch so erzeugt werden, dass zunächst aus beispielsweise Silizium eine Ankerradgeometrie mit Linienkontakt nach einer der vorstehenden Figuren 3-7 erzeugt wird und anschliessend das Bauteil zumindest auf seinen Kontaktflächen mit einer Hartstoffschiicht beschichtet wird. Diese Hartstoffschiicht ist nun **dadurch gekennzeichnet, dass** sie nach der Beschichtung eine grosse Oberflächenrauheit aufweist. Dies kann zum Beispiel durch das Wachstum von einer CVD Diamantschiicht mit grossen Diamantkristallen, z.B. polykristalliner Diamant mit mittleren Korngrössen von mehr als $2 \mu\text{m}$, erreicht werden. Hierbei wirken die herausstehenden Kristallite wie Bergspitzen und wirken somit als Kontaktpunkte entlang des hervorstehenden Grates, und die Kontaktpunkte sind selbstjustierend definiert. Das Gegenstück zu dieser rauen Punktauftragfläche sollte möglichst glatt sein, damit eine erhöhte Reibung durch Mikroverzahnung möglichst ausgeschlossen ist. Hierbei bietet sich beispielsweise eine nanokristalline CVD (**CVD - Chemical Vapor Deposition - Abscheidung aus der Gasphase**) Diamantschiicht mit einem mittleren Korndurchmesser von weniger als 50nm an und einer entsprechend geringen Oberflächenrauheit (gemittelte Rautiefe R_z) von weniger als 100nm .

[0041] Schliesslich ist in Fig. 9A eine Aufsicht und in Fig. 9B eine Seitenansicht einer Palette 16-9 dargestellt. Auf der Vorderseite und der Unterseite der Palette sind längliche Erhebungen 30-9 angebracht, welche in Grate 32-9 auslaufen; diese haben einen Verrundungsradius an der Spitze von beispielsweise weniger als $50 \mu\text{m}$. Diese Grate kommen beim Laufen des Zeitmessers in Kontakt mit ebenen Gegenflächen auf den Ankerradzähnen, die bevorzugt mit einem Hartstoff überzogen sind und eine Reustraigigkeit (gemittelte Rautiefe R_z) von unter etwa $2 \mu\text{m}$ aufweisen. Auch hier besteht das Ankerrad aus einem Material wie Silizium oder Diamant, aber hier mit ebenen Kontaktflächen auf den Zähnen 30. Die Palette 16-9 (ebenfalls die entsprechende Ausgangspalette 18-9 des Ankers; nicht dargestellt) gemäss Fig. 9A und 9B kann aus einem beliebigen, dimensionsstabilen Werkstoff bestehen, wobei die Erhebungen 30-9 wiederum aus hartem Material bestehen, insbesondere aus Silizium oder Diamant, und wobei die Siliziumflächen mit einem der oben genannten Hartstoffe beschichtet sein können.

[0042] Bei allen vorstehend beschriebenen Ausführungsformen besteht das Ankerrad 14 zunächst aus Silizium oder einem siliziumbasierten Material, wobei auch andere Materialien wie beispielsweise faserverstärkter Kohlenstoff, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid, Diamant usw., möglich sind, und die schrägen Flächen 36 und auch die Grate 32 und 34 sind durch Abscheiden eines Hartbelags aus einem Siliziumoxid, -nitrid oder -carbid, aus Diamant oder einem anderen Hartstoff veredelt, so dass sie äusserst glatt und reibungsarm sind und infolge ihrer grossen Härte weitgehend verschleissresistent sind.

[0043] Mit Ausnahme der in Fig. 8 beschriebenen Herstellung des selbstjustierenden Punktkontaktes durch die Abscheidung einer rauen, kristallinen Hartstoffschiicht ist die Qualität der sich in Kontakt befindlichen Oberflächen bevorzugt durch entsprechende Verfahrensmassnahmen beim Beschichten mit Hartmaterial und/oder bei einer anschliessenden Feinbearbeitung derart einzustellen, dass eine Reustraigigkeit (gemittelte Rautiefe R_z nach DIN EN ISO 4287) von unter etwa $2,0 \mu\text{m}$ erzielt wird. Dadurch wird die Reibung stark abgesenkt. Allerdings ist stets zu beachten, dass die Kontaktfläche beider Oberflächen nicht so gross sein darf, dass eine Adhäsion zwischen den beiden Flächen eintritt. Bei einer Abmessung der Kontaktfläche unter etwa $200 \mu\text{m}$ quer zur Bewegungsrichtung wird beispielsweise eine solche Adhäsion

sionskraft vermieden.

[0044] Die vorstehend besprochenen Ausführungsformen sind lediglich Beispiele und schränken die Erfindung nicht ein. Viele der genannten Merkmale können miteinander kombiniert werden; die Erwähnung sämtlicher möglicher Merkmalkombinationen würde den Rahmen dieses Dokumentes sprengen. So ist es möglich, um nur ein Beispiel zu nennen, dass das Ankerrad aus Silizium gefertigt wird und die Kontaktflächen mit den Paletten zunächst mit Siliziumnitrid beschichtet werden, auf dem dann eine Siliziumcarbidschicht abgelagert wird. Auch kann für besonders wertvolle Zeitmesser nicht nur das Ankerrad, sondern auch der Anker mit seinen Paletten aus Diamant gefertigt werden. Diamant ist in jeder Hinsicht ein besonders wertvoller Werkstoff für diese Uhrenteile, da er nur geringe Reibungskräfte erzeugt und ausserordentlich glatte, d.h. wenig raue, Flächen bietet und aufgrund seiner Härte äusserst verschleissfest ist.

[0045] Die Erfindung kann auf alle bekannten Uhrwerkshemmungen angewandt werden, obschon im Vorstehenden nur die Schweizer Ankerhemmung besprochen wurde.

[0046] Weitere Ausgestaltungen, Änderungen und Weiterentwicklungen, die im Wissen und Können des Fachmanns liegen, werden vom Geltungsbereich der vorliegenden Erfindung umfasst.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauteil, insbesondere im Räderwerk eines mechanischen Zeitmessers, welches derart in Berührung mit mindestens einem zweiten Bauteil steht, dass beim Betrieb des Zeitmessers eine Relativbewegung zwischen den Kontaktflächen des ersten mikromechanischen Bauteils und des zweiten mikromechanischen Bauteils eintritt,
dadurch gekennzeichnet, dass zumindest das erste mikromechanische Bauteil aus einem harten und dimensionsstabilen Nichtmetall so gefertigt ist, dass die mindestens eine Kontaktfläche zwischen dem ersten mikromechanischen Bauteil und dem zweiten mikromechanischen Bauteil eine Längendimension von höchstens 200 μm senkrecht zur Richtung der genannten Relativbewegung aufweist, und dass sich die genannte Kontaktfläche in Richtung dieser Relativbewegung erstreckt.
2. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das genannte Nichtmetall Silizium oder ein siliziumbasiertes Material ist.
3. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das genannte Nichtmetall Diamant ist.
4. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest die Kontaktfläche mit der Längendimension von höchstens 200 μm senkrecht zur Richtung der genannten Relativbewegung durch Aufbringen einer Beschichtung reibungs- und verschleissmindernd ausgerüstet ist.
5. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, 2 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rauigkeit, definiert als gemittelte Rautiefe R_z , der in Berührung befindlichen Kontaktflächen, die eine Relativbewegung ausführen, unter 2 μm liegt.
6. Mikromechanisches Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die genannte mindestens eine Kontaktfläche mit der Längendimension von höchstens 200 μm quer zur Richtung der Relativbewegung durch einen Grat einer Erhebung über die Grundfläche des mikromechanischen Bauteils gebildet wird, wobei sich dieser Grat in Richtung der genannten Relativbewegung erstreckt und oben einen Verrundungsradius im Bereich von 100 bis 50 μm aufweist.
7. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der genannte Verrundungsradius im Bereich von 80 bis 20 μm liegt.
8. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin oder amorph ist.
9. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung ein Siliziumoxid wie SiO_2 oder ein nichtstöchiometrisches Oxid der Formel Si_xO_y , wobei x und y ganze Zahlen sind, ein Siliziumcarbid, ein Siliziumnitrid, Diamant, DLC, synthetischer Rubin oder Saphir ist.
10. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Be-

EP 2 107 434 A1

schichtung nanokristallin ist und eine mittlere Korngröße von weniger als 100 nm aufweist.

5 11. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin ist und eine mittlere Korngröße von weniger als 20 nm aufweist.

12. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin ist und die Körner eine statistische Orientierung aufweisen.

10 13. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung eine HIT-Härte nach DIN EN ISO 14577 von mindestens 5 GPa aufweist.

14. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung eine HIT-Härte von mehr als 10 GPa aufweist, besonders bevorzugt von mehr als 50 GPa.

15 15. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung einer kritischen Druckspannung von mehr als 0,5 GPa, besonders bevorzugt von mehr als 2 GPa, zerstörungsfrei widerstehen kann.

20 16. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kritische Druckspannung des Materials der genannten Beschichtung richtungsunabhängig ist.

25 17. Mikromechanisches Bauteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Teil einer Ankerhemmung für mechanische Zeitmesser ist, wobei die Ankerhemmung einen schwenkbaren Anker (12) mit Ankerpaletten (16, 18), und ein mit einem Drehmoment beaufschlagtes Ankerrad (14), das über seinem Umfang etwa radial nach aussen abstehende Ankerradzähne (30, 30A) besitzt, umfasst, wobei die genannten Paletten (16, 18) beim Betrieb der Hemmung nacheinander und abwechselnd in Berührung mit Kontaktflächen an Flanken der Ankerradzähne (30, 30A) gelangen und eine Relativbewegung zwischen je einem Ankerradzahn (30, 30A) und je einer Palette (16, 18) eintritt, wenn der Anker seine Schwenkbewegung ausführt.

30 18. Ankerhemmung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Kontaktfläche mit der Breitendimension von weniger als 200 μm auf den Zähnen (30, 30A) des Ankerrads (14) befindet.

35 19. Ankerhemmung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Kontaktfläche mit der Breitendimension von weniger als 200 μm auf den Paletten (16, 18) befindet.

40 20. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ebenen Kontaktflächen auf den Paletten bzw. auf den Zähnen des Ankerrads eine Reustraugigkeit, definiert als gemittelte Rautiefe R_z , von unter etwa 2 μm aufweisen.

45 21. Mechanischer Zeitmesser mit hochpräziser Hemmung, enthaltend mindestens ein mechanisches Bauteil Ankerhemmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche.

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

50 1. Mikromechanische Vorrichtung, insbesondere im Räderwerk eines mechanischen Zeitmessers, bei der ein erstes Bauteil derart in Berührung mit mindestens einem zweiten Bauteil steht, dass beim Betrieb der Vorrichtung eine gleitende Relativbewegung zwischen mindestens einer Kontaktfläche des ersten mikromechanischen Bauteils und einer Kontaktfläche des zweiten mikromechanischen Bauteils eintritt,

55 **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest das erste mikromechanische Bauteil aus einem harten und dimensionsstabilen Nichtmetall gefertigt ist, und dass die mindestens eine Kontaktfläche des ersten mikromechanischen Bauteils mit der Kontaktfläche des zweiten mikromechanischen Bauteils die Form einer Kante oder einer Punktreihe aufweist, die sich in der Richtung der genannten Relativbewegung erstreckt und eine Breite von höchstens 200 μm senkrecht zur Richtung der genannten Relativbewegung aufweist.

2. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das genannte Nichtmetall Silizium oder ein siliziumbasiertes Material ist.

EP 2 107 434 A1

3. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das genannte Nichtmetall Diamant ist.
- 5 4. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest die Kontaktfläche mit der Breite von höchstens 200 μm senkrecht zur Richtung der genannten Relativbewegung durch Aufbringen einer Beschichtung reibungs- und verschleissmindernd ausgerüstet ist.
- 10 5. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, 2 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rauigkeit, definiert als gemittelte Rautiefe R_z , der in Berührung befindlichen Kontaktflächen, die eine gleitende Relativbewegung ausführen, unter 2 μm liegt.
- 15 6. Mikromechanisches Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die genannte mindestens eine Kontaktfläche mit der Breite von höchstens 200 μm quer zur Richtung der Relativbewegung durch einen Grat einer Erhebung über die Grundfläche des ersten mikromechanischen Bauteils gebildet wird, wobei sich dieser Grat in Richtung der genannten Relativbewegung erstreckt und oben einen Verrundungsradius im Bereich von 100 bis 50 μm aufweist.
- 20 7. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der genannte Verrundungsradius im Bereich von 80 bis 20 μm liegt.
- 25 8. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin oder amorph ist.
- 30 9. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung ein Siliziumoxid wie SiO_2 oder ein nichtstöchiometrisches Oxid der Formel Si_xO_y , wobei x und y ganze Zahlen sind, ein Siliziumcarbid, ein Siliziumnitrid, Diamant, DLC, synthetischer Rubin oder Saphir ist.
- 35 10. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin ist und eine mittlere Korngröße von weniger als 100 nm aufweist.
- 40 11. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin ist und eine mittlere Korngröße von weniger als 20 nm aufweist.
- 45 12. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung nanokristallin ist und die Körner eine statistische Orientierung aufweisen.
- 50 13. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung eine HIT-Härte nach DIN EN ISO 14577 von mindestens 5 GPa aufweist.
- 55 14. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung eine HIT-Härte von mehr als 10 GPa aufweist, besonders bevorzugt von mehr als 50 GPa.
15. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material der genannten Beschichtung einer kritischen Druckspannung von mehr als 0,5 GPa, besonders bevorzugt von mehr als 2 GPa, zerstörungsfrei widerstehen kann.
16. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kritische Druckspannung des Materials der genannten Beschichtung richtungsunabhängig ist.
17. Mikromechanisches Bauteil nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Teil einer Ankerhemmung für mechanische Zeitmesser ist, wobei die Ankerhemmung einen schwenkbaren Anker (12) mit Ankerpaletten (16, 18), und ein mit einem Drehmoment beaufschlagtes Ankerrad (14), das über seinem Umfang etwa radial nach aussen abstehende Ankerradzähne (30, 30A) besitzt, umfasst, wobei die genannten Paletten (16, 18) beim Betrieb der Hemmung nacheinander und abwechselnd in Berührung mit Kontaktflächen an Flanken der Ankerradzähne (30, 30A) gelangen und eine gleitende Relativbewegung zwischen je einem Ankerradzahn (30, 30A) und je einer Palette (16, 18) eintritt, wenn der Anker seine Schwenkbewegung ausführt.

EP 2 107 434 A1

18. Ankerhemmung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Kontaktfläche mit der Breitendimension von weniger als 200 μm auf den Zähnen (30, 30A) des Ankerrads (14) befindet.

5 19. Ankerhemmung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Kontaktfläche mit der Breitendimension von weniger als 200 μm auf den Paletten (16, 18) befindet.

10 20. Ankerhemmung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ebenen Kontaktflächen auf den Paletten bzw. auf den Zähnen des Ankerrads eine Reustraigigkeit, definiert als gemittelte Rautiefe R_z , von unter etwa 2 μm aufweisen.

15 21. Mechanischer Zeitmesser mit hochpräziser Hemmung, enthaltend mindestens ein mechanisches Bauteil Ankerhemmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche.

20

25

30

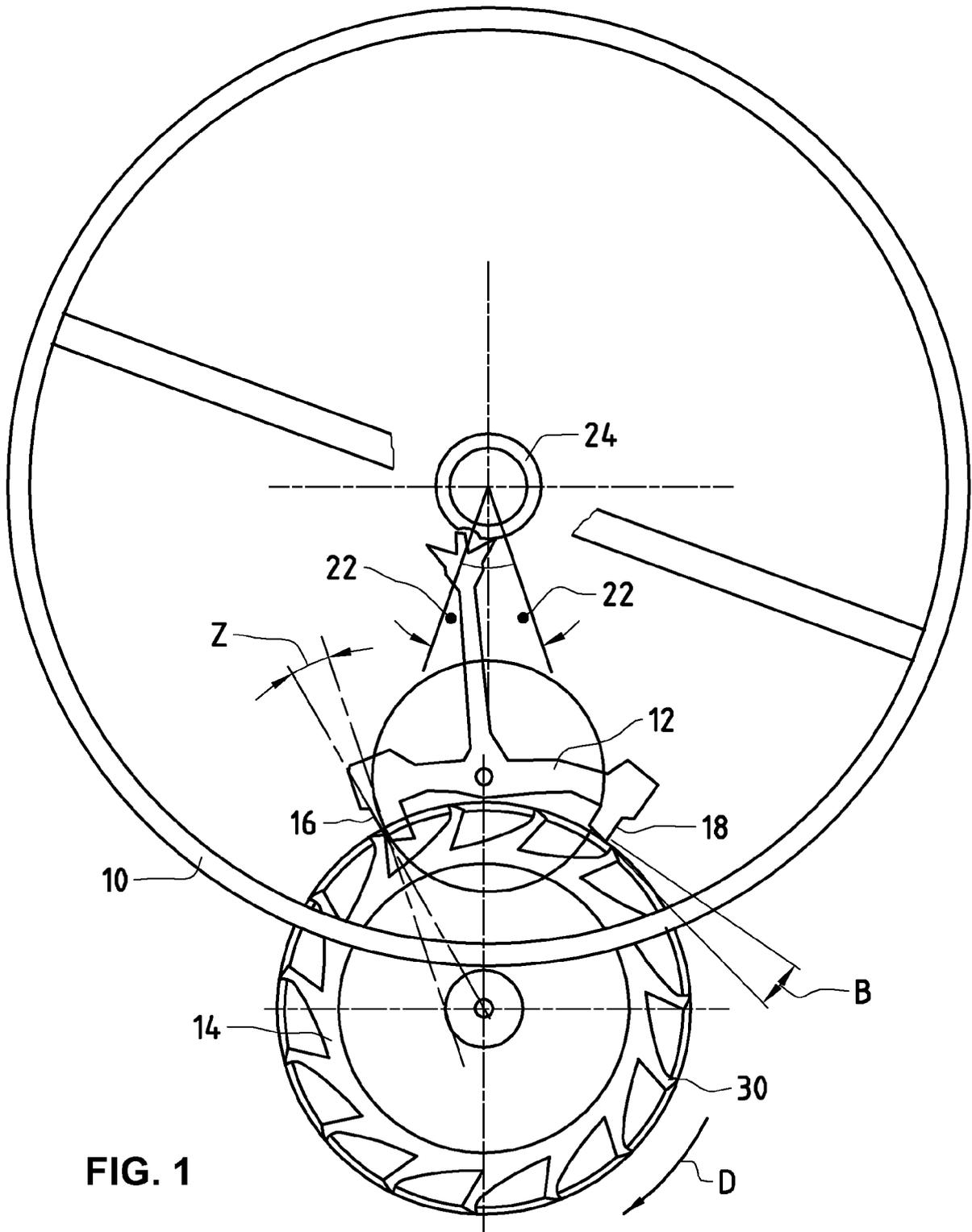
35

40

45

50

55



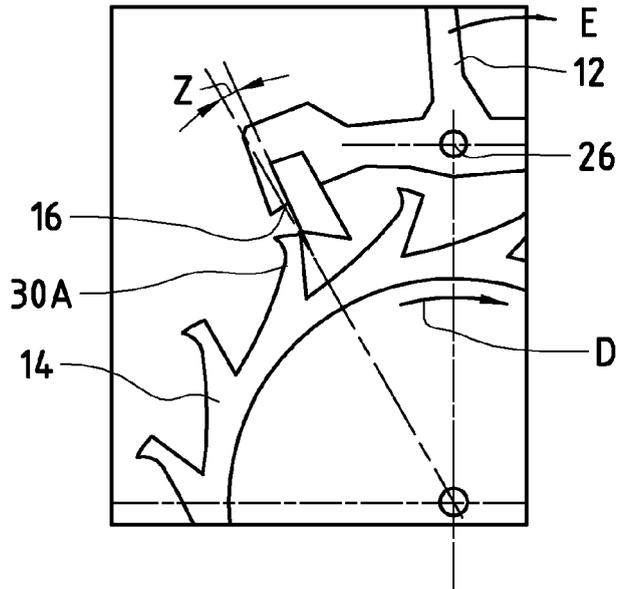


FIG. 2A

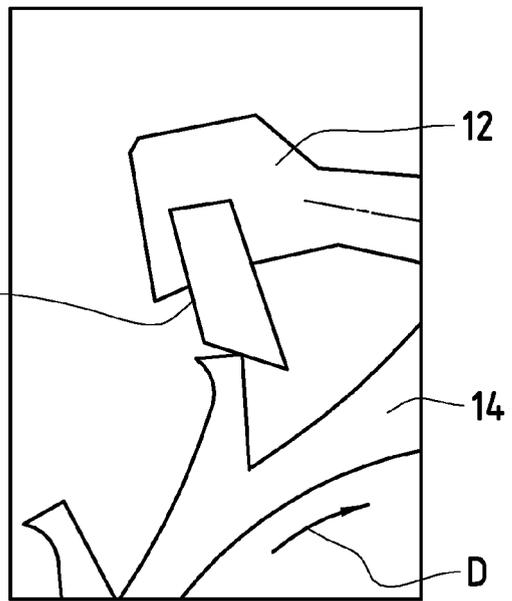


FIG. 2B

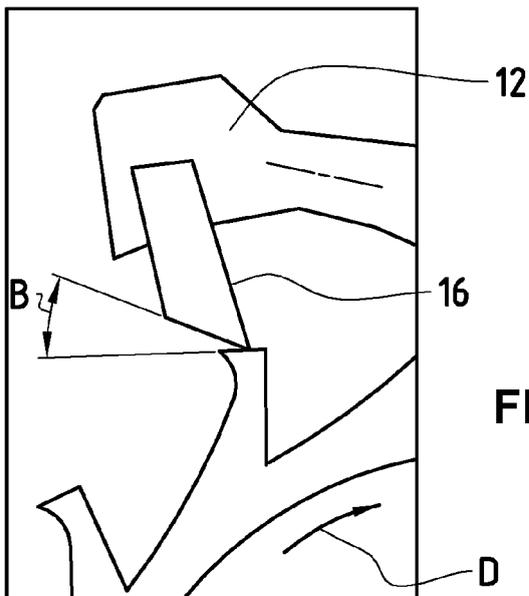


FIG. 2C

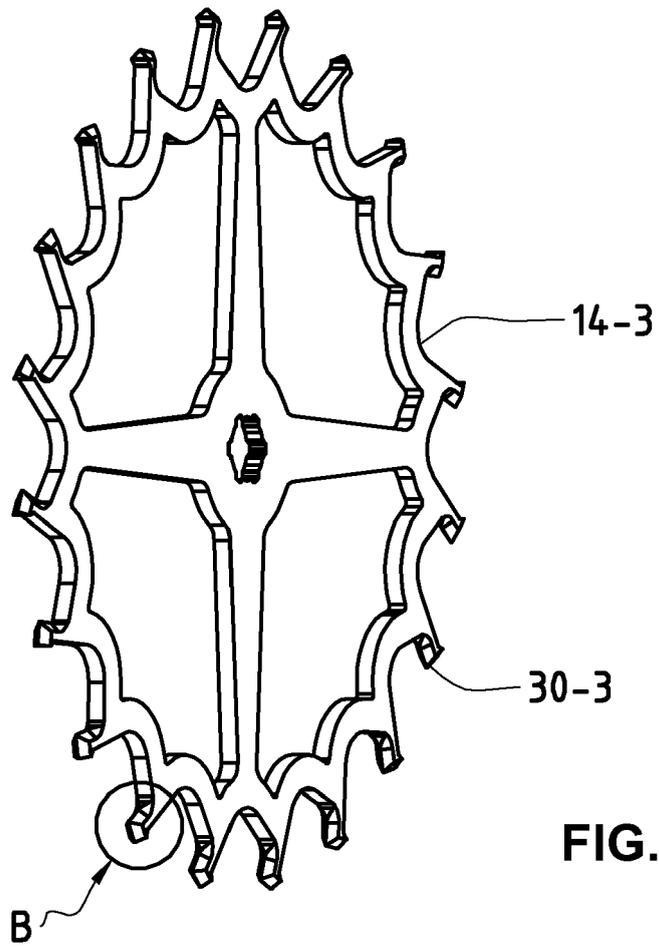


FIG. 3A

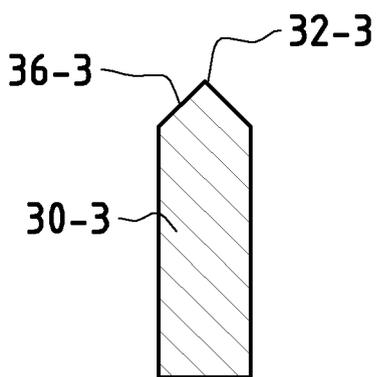


FIG. 3C

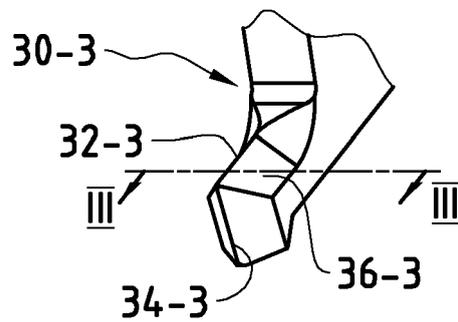


FIG. 3B

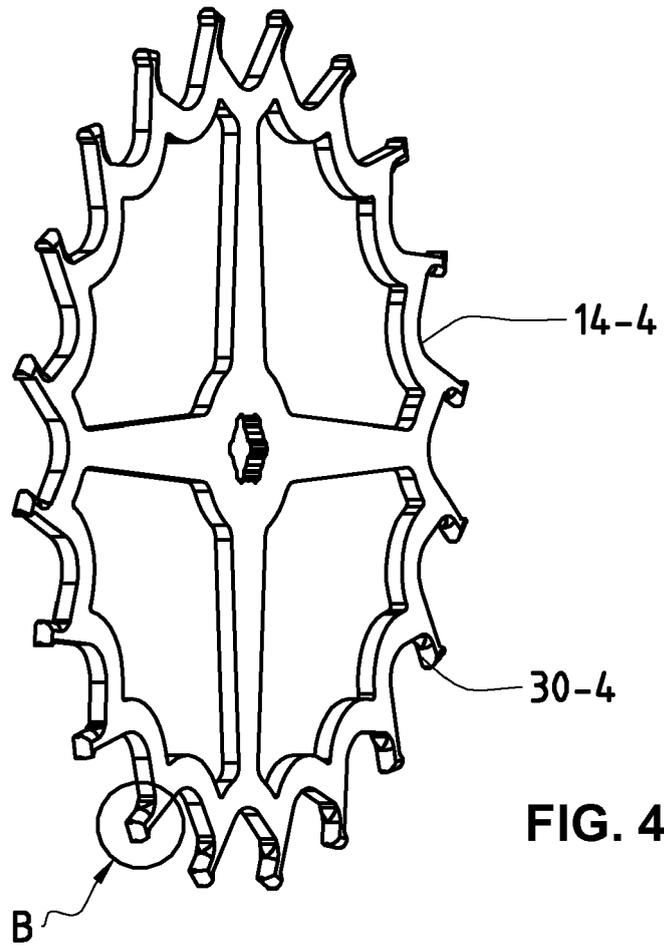


FIG. 4A

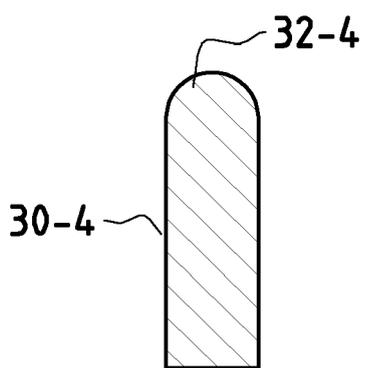


FIG. 4C

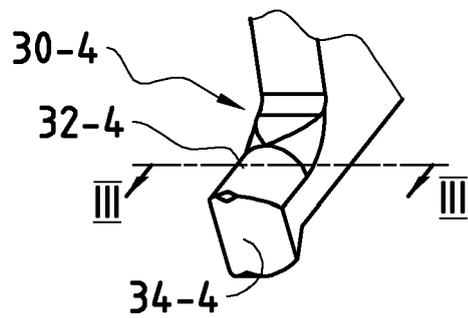


FIG. 4B

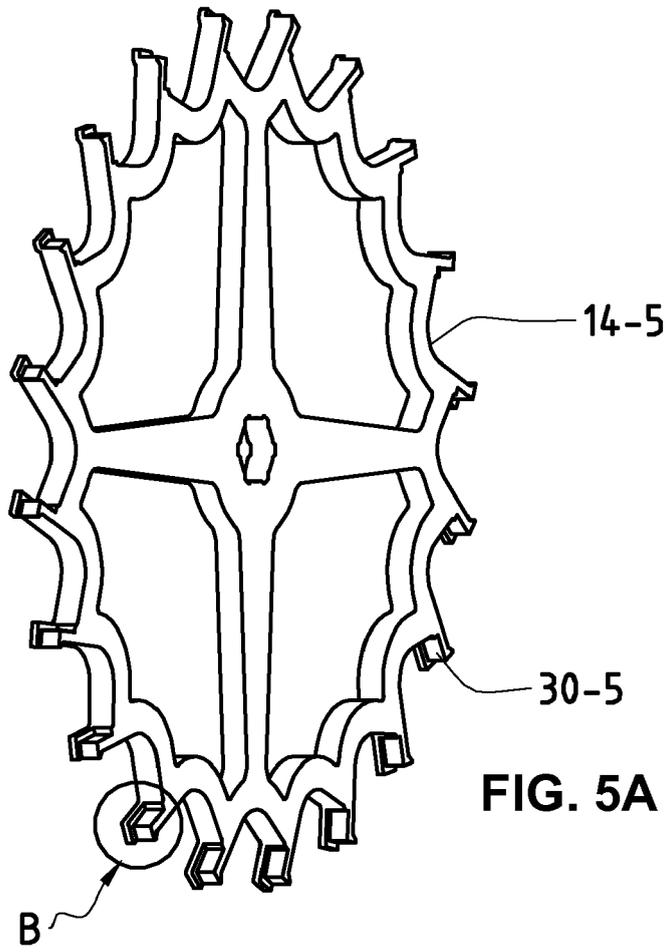


FIG. 5A

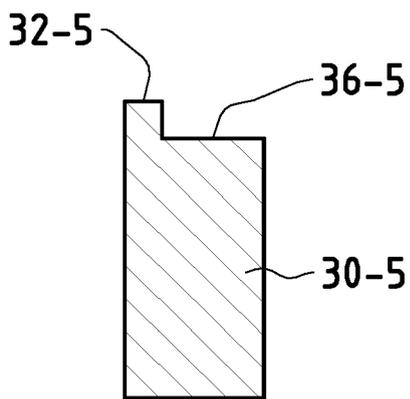


FIG. 5C

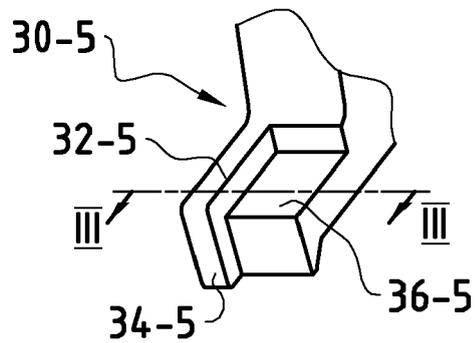
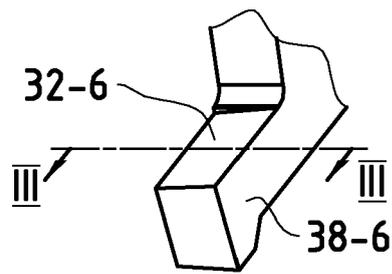
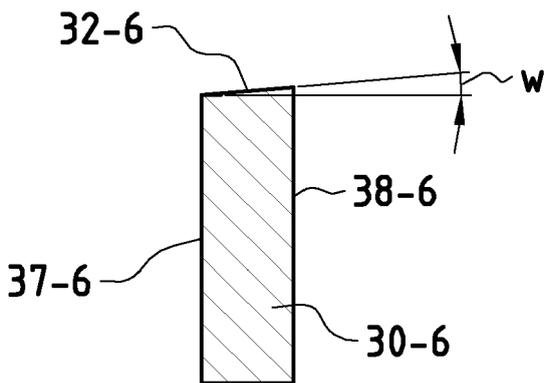
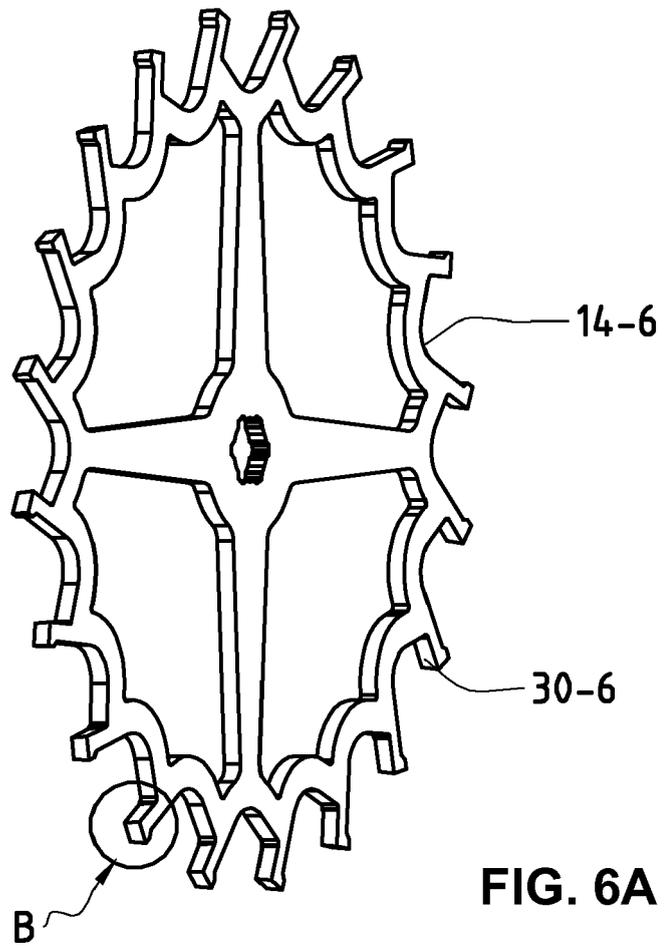


FIG. 5B



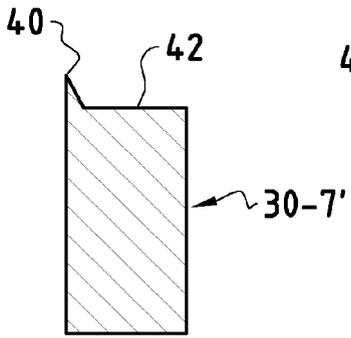


FIG. 7A

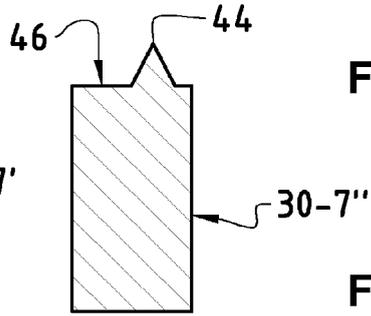


FIG. 7B

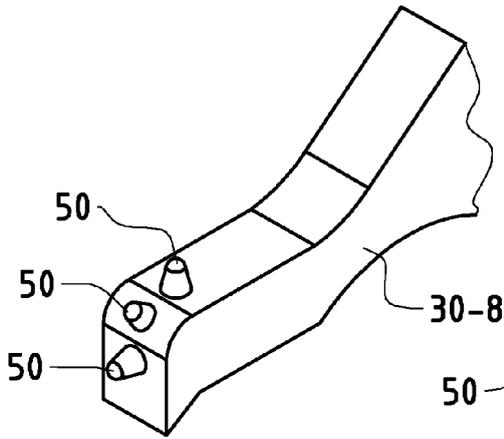
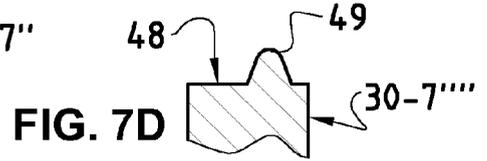
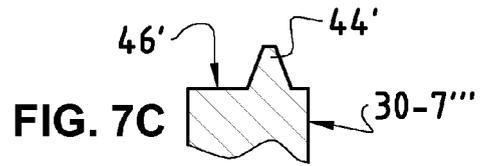


FIG. 8A

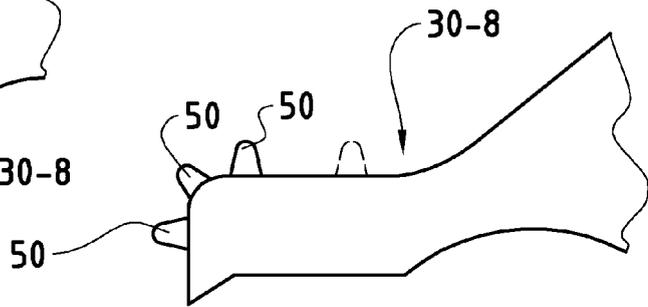


FIG. 8B

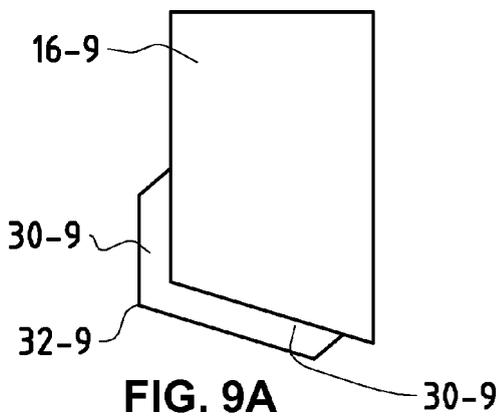


FIG. 9A

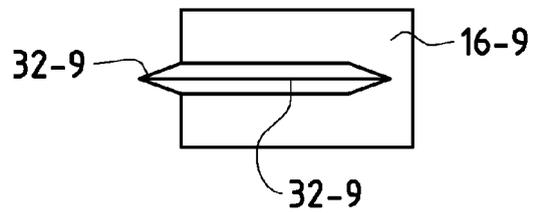


FIG. 9B



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 08 15 3962

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 6 211 599 B1 (BARNES STEPHEN M [US] ET AL) 3. April 2001 (2001-04-03) * Absatz [0007]; Abbildungen 1,4 * * Sätze 7-30, Absatz 13 * -----	1	INV. G04B15/14
E	EP 1 921 522 A (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 14. Mai 2008 (2008-05-14) * Absatz [0024]; Abbildungen 3,7 * -----	1	
X	CH 342 897 A (HUGUENIN PIERRE LOUIS [CH]) 30. November 1959 (1959-11-30) * das ganze Dokument * -----	1	
X	FR 1 485 813 A (PFORZHEIMER UHREN ROHWERKE) 23. Juni 1967 (1967-06-23) * Seite 1; Abbildungen 1-3 * -----	1	
X	CH 372 476 A (ERNST LEITZ CANADA LIMITED [CA]) 15. Oktober 1963 (1963-10-15) * Spalten 1-2; Abbildungen 1,2 * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 20. Januar 2009	Prüfer Mérimèche, Habib
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

5
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 15 3962

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-01-2009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6211599 B1	03-04-2001	US 6313562 B1	06-11-2001
EP 1921522 A	14-05-2008	CN 101183839 A	21-05-2008
		JP 2008122389 A	29-05-2008
		KR 20080043261 A	16-05-2008
		SG 143158 A1	27-06-2008
		US 2008111449 A1	15-05-2008
CH 342897 A	30-11-1959	KEINE	
FR 1485813 A	23-06-1967	KEINE	
CH 372476 A	15-10-1963	DE 1186236 B	28-01-1965

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1622826 A [0020]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **Kuchling.** Taschenbuch der Physik. Verlag Harri Deutsch, 1989, 103ff [0009]